

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-340501

(43)Date of publication of application : 10.12.1999

(51)Int.Cl.

H01L 33/00

(21)Application number : 10-146752

(71)Applicant : RICOH CO LTD

(22)Date of filing : 28.05.1998

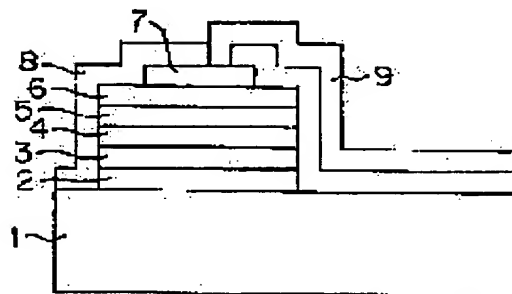
(72)Inventor : SUGAWARA SATORU  
SATO SHUNICHI

## (54) LIGHT-EMITTING DIODE AND LIGHT-EMITTING DIODE ARRAY

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To prevent the characteristics deterioration of an element caused by a lowering of the light-emitting efficiency of a light-emitting diode, when the thickness of the active layer of the diode is 0.2  $\mu$ m or smaller.

SOLUTION: In a light-emitting diode having an AlGaAs-based double heterostructure on a substrate 1 which has an active layer 4 having a thickness of 0.2  $\mu$ m or smaller, a first-conductivity type clad layer 3 formed under the active layer 4, and a second-conductivity type clad layer 5 formed on the active layer 4, the carrier concentration in the clad layer 3 is adjusted to be  $2 \times 10^{17}$  cm $^{-3}$  or lower.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

11.09.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-340501

(43) 公開日 平成11年(1999)12月10日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

H 0 1 L 33/00

識別記号

F I

H 0 1 L 33/00

A

審査請求 未請求 請求項の数3 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平10-146752

(22) 出願日 平成10年(1998)5月28日

(71) 出願人 000006747

株式会社リコー

東京都大田区中馬込1丁目3番6号

(72) 発明者 菅原 悟

東京都大田区中馬込1丁目3番6号・株式  
会社リコー内

(72) 発明者 佐藤 俊一

東京都大田区中馬込1丁目3番6号・株式  
会社リコー内

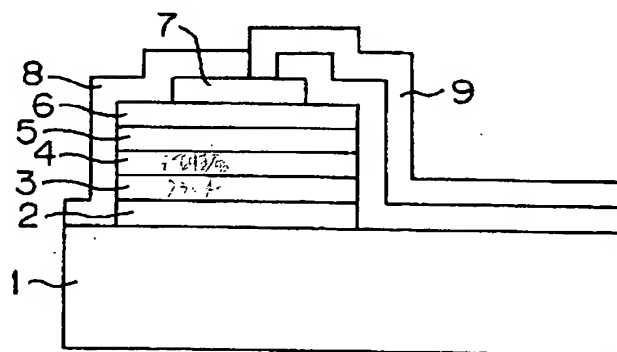
(74) 代理人 弁理士 樺山 亨 (外1名)

(54) 【発明の名称】 発光ダイオード及び発光ダイオードアレイ

(57) 【要約】

【課題】 この発明は、活性層の厚さが $0.2\mu\text{m}$ 以下である場合に発光効率の低下による素子特性の劣化が生じるという課題を解決しようとするものである。

【解決手段】 この発明は、活性層4と、この活性層4の下側に形成された第1の導電型のクラッド層3と、活性層4の上側に形成された第2の導電型のクラッド層5とを有するAlGaAs系材料からなるダブルヘテロ構造を基板1上に持ち、活性層4の厚さが $0.2\mu\text{m}$ 以下である発光ダイオードにおいて、前記第1の導電型のクラッド層3のキャリア濃度を $2 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ より低い濃度としたものである。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】活性層と、この活性層の下側に形成された第1の導電型のクラッド層と、前記活性層の上側に形成された第2の導電型のクラッド層とを有するAlGaAs系材料からなるダブルヘテロ構造を基板上に持ち、前記活性層の厚さが0.2  $\mu\text{m}$ 以下である発光ダイオードにおいて、前記第1の導電型のクラッド層のキャリア濃度を $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ より低い濃度としたことを特徴とする発光ダイオード。

【請求項2】請求項1記載の発光ダイオードにおいて、前記活性層の導電型を前記第1の導電型のクラッド層と同じ第1の導電型としたことを特徴とする発光ダイオード。

【請求項3】請求項1または2記載の発光ダイオードを用いて作製したことを特徴とする発光ダイオードアレイ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は発光ダイオード及び発光ダイオードアレイに関する。

## 【0002】

【従来の技術】発光ダイオードには下部クラッド層、活性層及び上部クラッド層を積層したダブルヘテロ構造を持つ発光ダイオードがあり、シングル接合やホモ接合の発光ダイオードと比較して高い出力を得ることができる。ただし、このダブルヘテロ構造の特徴を活かし、発光ダイオードの光出力を向上させるには活性層及びクラッド層の厚さ、Al組成、キャリア濃度といった各条件を適正に選ぶことが重要である。特開平4-214682号公報には、ダブルヘテロ構造を持つ発光ダイオードにおいて、クラッド層の条件を適正化して光出力を向上させるようにしたものが記載されている。この特開平4-214682号公報記載の発光ダイオードでは、活性層の条件及びクラッド層の条件を図10に示すように適正化することにより、高い光出力を持つ発光ダイオードを実現している。

【0003】しかしながら、近年のプリンタの光源に使用される発光ダイオードは、より高い特性が要求されている。そこで、ダブルヘテロ構造を持つ発光ダイオードにおいて、活性層の厚さ $d$ を $0.01 \mu\text{m} < d < 0.1 \mu\text{m}$ としたものが特開平5-37011号公報に記載されている。この発光ダイオードでは、活性層の厚さ $d$ を $0.01 \mu\text{m} < d < 0.1 \mu\text{m}$ とすることにより、低い注入電流値でも高い注入キャリア密度を実現し高い出力を得ると共に、レーザ発振の抑制、光発散角の狭角化の機能も実現している。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしなが、上記特開平5-37011号公報記載の発光ダイオードの様に活性層の厚さ $d$ を非常に薄くした場合には、特開平4-2

14682号公報記載の発光ダイオードで適正化したクラッド層の条件では、不充分であることが我々の実験結果から明らかとなった。

【0005】図11は我々が作成したAlGaAs系材料からなるダブルヘテロ構造の断面写真である。この構造はn型GaAs基板の上に、厚さ1.15  $\mu\text{m}$ 、キャリア濃度 $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のn型Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Asクラッド層21、その上に厚さ0.05  $\mu\text{m}$ 、キャリア濃度 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下のノンドープAl<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As活性層22、その上に厚さ1.15  $\mu\text{m}$ 、キャリア濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のp型Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Asクラッド層23、その上に厚さ0.2  $\mu\text{m}$ 、キャリア濃度 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のp型GaAsキャップ層がそれぞれ積層されている。ここで記述されたキャリア濃度はホール測定を用いて測定されたキャリア濃度を記載しており、本明細書で示されるキャリア濃度の記述はすべてホール測定を用いて測定されたキャリア濃度である。ただし、Al組成が0.25から0.8ぐらいまでの組成を持つn型AlGaAsにおいては広く知られているように、ドナーがDXを形成して不活性化してしまう。そのため、SIMS等で得られる不純物濃度とホール測定を用いて測定されたキャリア濃度の間には違いが生じてしまう。例えば上記 $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のn型Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Asの場合は、SIMSで得られた不純物濃度は $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であった。また、本明細書では、 $x \times y \text{ cm}^{-3}$ は、 $x \times (10 \text{ の } y \text{ 乗}) \text{ cm}^{-3}$ のマイナス3乗を表わす。図11において、24に示す厚さ0.14  $\mu\text{m}$ の領域はn型クラッド層21内の不純物が結晶成長中の熱拡散により活性層22を越えてp型クラッド層23まで拡散し、p型クラッド層の一部がn型に反転してしまった領域を示している。

【0006】このように、n型クラッド層21内の不純物がp型クラッド層23まで拡散することにより、活性層22の結晶性が悪くなる、また、pn接合の位置が設計時と異なる位置になる等の不具合を生じ、これが発光効率の低下による素子特性の劣化につながっていた。このような不純物の拡散によるpn接合位置の変化は0.1~0.2  $\mu\text{m}$ 程度であり、例えば特開平4-214682号公報記載の発光ダイオードの様に0.5~3  $\mu\text{m}$ の厚い活性層を持つ発光ダイオードではほとんど問題とはならなかった。しかし、特開平5-37011号公報記載の発光ダイオードの様に活性層の厚さ $d$ を非常に薄くした場合には、0.1~0.2  $\mu\text{m}$ のpn接合位置の変化が、発光ダイオードの光出力に対して大きな影響を及ぼしてしまうのである。

【0007】請求項1に係る発明は、活性層の厚さが0.2  $\mu\text{m}$ 以下であっても発光効率が高く良好な特性を持つ発光ダイオードを提供することを目的とする。請求項2に係る発明は、低電流注入でも発光効率が高く良好な特性を持つ発光ダイオードを提供することを目的

とする。請求項3に係る発明は、低電流注入でも発光効率が良く、良好な特性を持つ発光ダイオードアレイを提供することを目的とする。

#### 【0008】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、請求項1に係る発明は、活性層と、この活性層の下側に形成された第1の導電型のクラッド層と、前記活性層の上側に形成された第2の導電型のクラッド層とを有するAlGaAs系材料からなるダブルヘテロ構造を基板上に持ち、前記活性層の厚さが0.2μm以下である発光ダイオードにおいて、前記第1の導電型のクラッド層のキャリア濃度を $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ より低い濃度としたものである。

【0009】請求項2に係る発明は、請求項1記載の発光ダイオードにおいて、前記活性層の導電型を前記第1の導電型のクラッド層と同じ第1の導電型としたものである。

【0010】請求項3に係る発明は、請求項1または2記載の発光ダイオードを用いて作製したものである。

#### 【0011】

【発明の実施の形態】図1及び図2は本発明の一実施形態における発光ダイオードの構成を示し、図3はこの実施形態の構成を示す。この実施形態は、複数の端面発光型発光ダイオードを有する端面発光型発光ダイオードアレイの一実施形態であり、以下のように製作される。まず、n型GaAsからなる基板1上にMOCVD法による結晶成長で順次に、n型GaAsからなるバッファ層2、n型Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Asからなる下部クラッド層3、ノンドープAl<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Asからなる活性層4、p型Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Asからなる上部クラッド層5、p型GaAsからなるキャップ層6を形成し、キャップ層6上にAu-Zn/Auからなるp-電極7を形成することで、半導体素子としての端面発光型発光ダイオードを形成する。このとき、基板1及び各層2～6は図4に示すような条件を満たすものとする。

【0012】次に、キャップ層6の上に素子分離用マスクとしてのエッチングマスクをフォトリソグラフィ工程により形成してドライエッチング工程により基板1上の半導体素子を電氣的、光学的に分離する。次に、エッチングマスクを除去した後、PECVD法を用いて絶縁膜8を基板1上に堆積する。その後、絶縁膜8にフォトリソ、エッチング工程を経てコンタクトホールを形成し、電極配線9をコンタクトホール内及び絶縁膜8上に形成する。以上で一列に配列された複数の端面発光型発光ダイオード11、12、13・・・を有する端面発光型発光ダイオードアレイを含むウェハが得られ、このウェハはダイシング法又はスクライプ法によりチップ状にカットして各々端面発光型発光ダイオードアレイを分離する。

【0013】この実施例の発光ダイオードアレイにお

る発光ダイオード11、12、13・・・は下部クラッド層3のキャリア濃度が $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  (SIMSによる不純物濃度は $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ) より小さな値である $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  (: SIMSによる不純物濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ) としている。そのため、図5に示す本実施形態の断面においては、図11に示したような、下部クラッド層3内の不純物が活性層4を越えて上部クラッド層5まで拡散し、上部クラッド層の一部がn型に反転した領域は認められない。これにより、従来の構造で問題となっていた活性層の結晶性が悪くなる、また、pn接合の位置が設計時と異なる位置になる等の不都合を生じなくなり、発光効率を向上させることができる。また、下部クラッド層のキャリア濃度を低くすることにより、下部クラッド層自体の結晶性も向上する。

【0014】図6は、本実施形態において、下部クラッド層3に用いるn型Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Asのキャリア濃度を変えたものについて測定したn型Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Asのキャリア濃度とPL (フォトルミネセンス) 強度との関係を示す。図6から、PL強度は、n型Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Asのキャリア濃度が増大するに従って大きくなるが、下部クラッド層3のキャリア濃度が $1.8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 付近から急激に低下し、n型Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Asのキャリア濃度が $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下である場合に高いPL強度が得られることがわかる。

【0015】このように、キャリア濃度があまり変わらないn型Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As同士で明らかなPL強度の違いが認められるのは、n型Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Asの結晶性が大きく異なることによるものと考えられる。この結晶性の良いn型Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Asを下部クラッド層3に用いることにより、より高い光出力を持つ発光ダイオードが得られる。

【0016】実際に、図7に示すように、本実施形態(図7では $1 \times 10^{17}$ を付したものは、前述した下部クラッド層のキャリア濃度を $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ とした発光ダイオード(図7では $1 \times 10^{17}$ を付したもの)と比べて、下部クラッド層のキャリア濃度の違いにより、最大光出力が大幅に大きくなる。ただし、下部クラッド層のキャリア濃度を低くするに従い素子の直列抵抗が高くなるから、下部クラッド層3のキャリア濃度は、 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ぐらいが下限となり、 $5 \times 10^{16} \sim 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ とすることが望ましい。

【0017】この実施形態の発光ダイオードは、請求項1に係る発明の実施形態であり、活性層4と、この活性層4の下側に形成された第1の導電型のクラッド層3と、前記活性層4の上側に形成された第2の導電型のクラッド層5とを有するAlGaAs系材料からなるダブルヘテロ構造を基板1上に持ち、前記活性層4の厚さが0.2μm以下である発光ダイオードにおいて、前記第1の導電型のクラッド層3のキャリア濃度を $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ より低い濃度としたので、クラッド層5においてク

ラッド層 3 からの不純物が拡散した領域がなくなり、活性層の厚さが  $0.2 \mu\text{m}$  以下であっても発光効率が高く、良好な特性を持つ。

【0018】本発明の他の実施形態は、上記実施形態において、活性層 4 に Se をキャリア濃度が  $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$  となるようにドーピングしたものであり、長さ  $35 \mu\text{m}$  × 幅  $45 \mu\text{m}$  の大きさの発光ダイオードを  $63.5 \mu\text{m}$  のピッチで一列に配列したものである。

【0019】活性層 4 の最適な導電型を知るために、本実施形態において、活性層に Se または Zn をキャリア濃度が  $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$  となるようにドーピングしたもの、活性層に不純物をドーピングしないものを比較したところ、図 8 に示すように、活性層に Se をドーピングしたもの（図 8 では Se を付したもので、これを N とする）、活性層に Zn をドーピングしたもの（図 8 では Zn を付したもので、これを P とする）、活性層にドーピングしないもの（これを non とする）は最大光出力が  $N > \text{non} > P$  の順になった。ここに、N は活性層に Se をドーピングしたことにより表面再結合電流が non より低減して発光効率が高くなり、non は不純物をドーピングしないことにより結晶性が P より良くなる。結局、光出力は N が一番大きくなり、最大光出力は活性層に Se をドーピングした N により得られる。

【0020】また、本実施形態は、活性層に下部クラッド層 3 と同じ導電型の不純物を高濃度でドーピングしたことにより、図 9 に示すように低注入電流領域で高い光出力が得られる。従って、本実施形態の発光ダイオード（LED）アレイは、 $10 \sim 20 \mu\text{W}$  の光出力で利用されることが多い LED プリント用 LED に最適である。なお、本実施形態において、下部クラッド層 3 及び活性層を p 型材料で構成して上部クラッド層 5 を p 型材料で構成した場合には、活性層には下部クラッド層 3 と同じ導電型の不純物をドーピングすれば、同様に最大光出力を得ることが可能である。

【0021】本実施形態は、請求項 2 に係る発明の実施形態であり、請求項 1 記載の発光ダイオードにおいて、前記活性層の導電型を前記第 1 の導電型のクラッド層 3 と同じ第 1 の導電型としたので、低電流注入でも発光効率がよくて良好な特性を持つ。また、本実施形態及び上記実施形態は、請求項 3 に係る発明の実施形態であり、請求項 1 または 2 記載の発光ダイオードを用いて作製したので、低電流注入でも発光効率がよくて良好な特性を持ち、プリンタの光源などに好適である。

【0022】

【発明の効果】以上のように請求項 1 に係る発明によれば、上記構成により、活性層の厚さが  $0.2 \mu\text{m}$  以下であっても発光効率がよくて良好な特性を持つ。

【0023】請求項 2 に係る発明によれば、上記構成により、低電流注入でも発光効率がよくて良好な特性を持つ。

【0024】請求項 3 に係る発明によれば、上記構成により、低電流注入でも発光効率がよくて良好な特性を持ち、プリンタの光源などに好適である。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の一実施形態における発光ダイオードの構成を示す断面図である。

【図 2】同発光ダイオードを示す平面図である。

【図 3】同実施形態の一部を示す平面図である。

【図 4】同実施形態の基板及び各層の条件を示す図である。

【図 5】同実施形態の発光ダイオード断面を示す図である。

【図 6】n 型 Alo.4Ga0.6As のキャリア濃度と PL 強度との関係を示す特性図である。

【図 7】上記実施形態及び他の発光ダイオードの電流と光出力との関係を示す特性図である。

【図 8】上記実施形態及び別の発光ダイオードの電流と光出力との関係を示す特性図である。

【図 9】本発明の他の実施形態及び別の発光ダイオードの低注入電流領域での電流と光出力との関係を示す特性図である。

【図 10】従来の発光ダイオードの活性層の条件及びクラッド層の条件を示す図である。

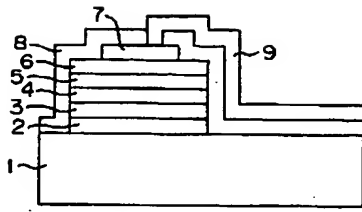
【図 11】従来の発光ダイオードの断面を示す図である。

#### 【符号の説明】

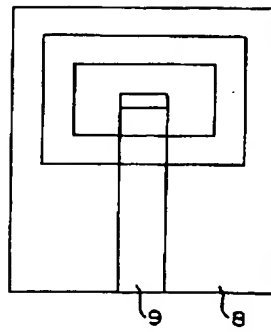
- 1 基板
- 2 バッファ層
- 3 下部クラッド層
- 4 活性層
- 5 上部クラッド層
- 6 キャップ層
- 7 絶縁膜
- 8 n-電極
- 9 電極配線

11、12、13、14 端面発光型発光ダイオード

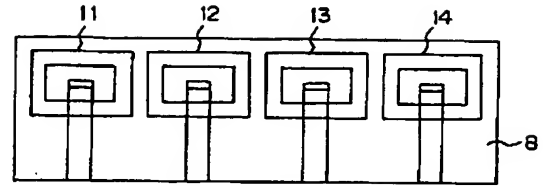
【図1】



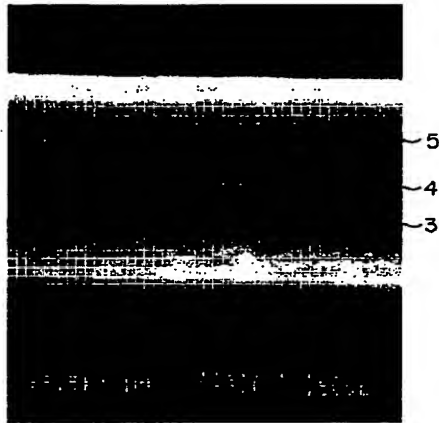
【図2】



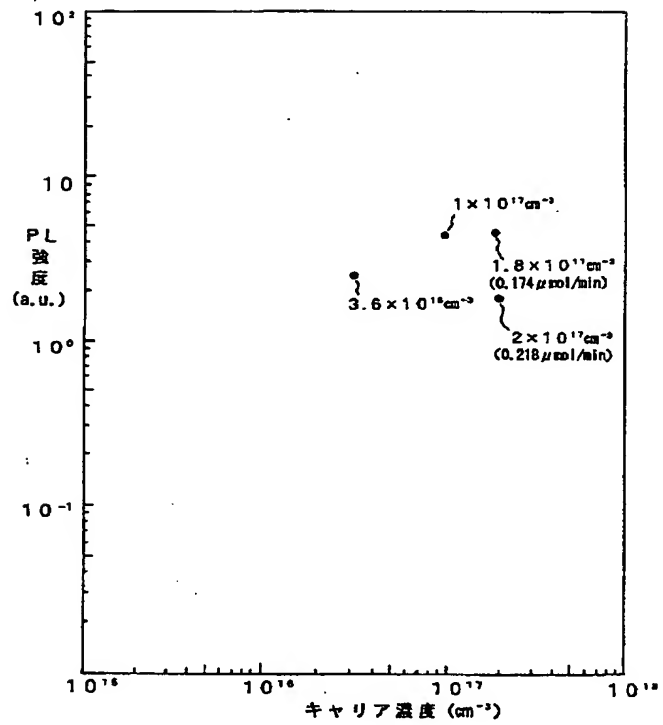
【図3】



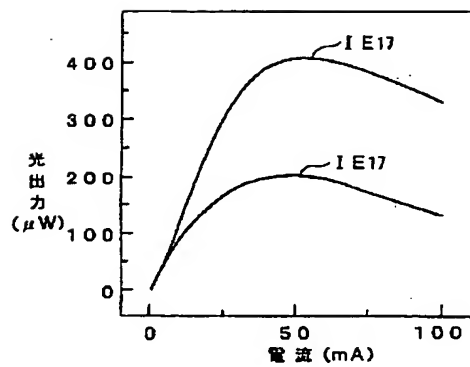
【図5】



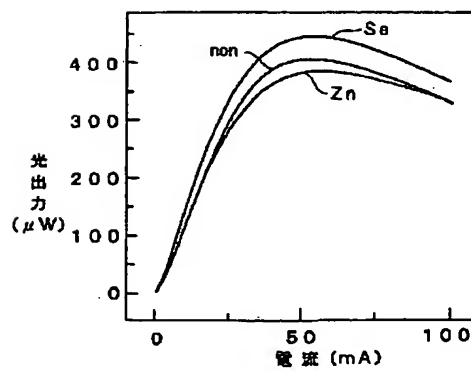
【図6】



【図7】



【図8】



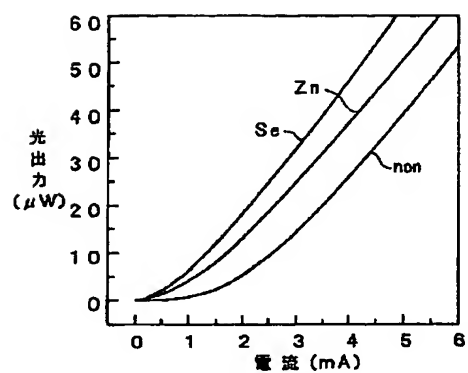
【図4】

| 層       | 材料                                       | 不純物 | キャリア濃度 (cm <sup>-3</sup> ) | 厚さ (μm) |
|---------|--|-----|----------------------------|---------|
| キャップ層   | p型GaAs                                   | Zn  | $3 \times 10^{18}$         | 0.2     |
| 上部クラッド層 | p型Al <sub>0.4</sub> Ga <sub>0.6</sub> As | Zn  | $5 \times 10^{17}$         | 1.15    |
| 活性層     | Al <sub>0.2</sub> Ga <sub>0.8</sub> As   | non | —                          | 0.05    |
| 下部クラッド層 | n型Al <sub>0.4</sub> Ga <sub>0.6</sub> As | Se  | $1 \times 10^{17}$         | 1.15    |
| バッファ層   | n型GaAs                                   | Se  | $3 \times 10^{18}$         | 0.4     |
| 基板      | n型GaAs                                   | Si  | $3 \times 10^{18}$         | 350     |

【図10】

|         | Al組成    | 不純物 | 厚さ (μm) | キャリア濃度 (cm <sup>-3</sup> )  |
|---------|---------|-----|---------|-----------------------------|
| p型クラッド層 | 0.7~0.8 | Zn  | 50~200  | $8 \cdot 10^{17}$ (活性層との境界) |
| p型活性層   | 0.3~0.4 | Zn  | 0.5~3   | $1 \sim 8 \cdot 10^{18}$    |
| n型クラッド層 | 0.7~0.8 | Te  | 20~200  | $0.5 \sim 5 \cdot 10^{17}$  |

【図9】



【図11】

